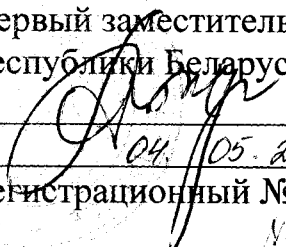


**Министерство образования Республики Беларусь
Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь
по естественнонаучному образованию**

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

 А.И. Жук

04.05.2011
Регистрационный № ТД-___/тип.

№ ТА - Г. 364 /тип.

**ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ
И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

**Типовая учебная программа
для высших учебных заведений по специальности
1-31 04 02 Радиофизика**

СОГЛАСОВАНО

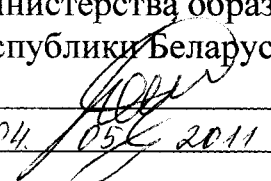
Председатель Учебно-методического
объединения вузов Республики
Беларусь по естественнонаучному
образованию

 В.В. Самохвал

17.06.2010

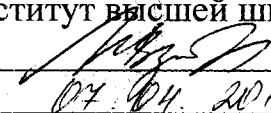
СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления высшего и
среднего специального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

 Ю.И. Миксюк

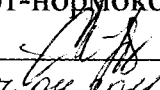
04.05.2011

Проректор по учебной и
воспитательной работе
Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

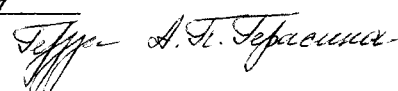
 В.И. Шупляк

07.04.2011

Эксперт-нормоконтролер

 С.М. Артемьева

07.04.2011

 А.Г. Терешина

Минск 2010

СОСТАВИТЕЛИ:

П.И. Гайдук, профессор кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, доцент;

Н.Н. Кольчевский, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра микро- и нанотехники Белорусского национального технического университета;

А.Г. Смирнов - профессор кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», доктор технических наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета
(протокол № 9 от 09 апреля 2010 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета
(протокол № 4 от 12 мая 2010 г.);

Секцией по радиофизике и физической электронике научно-методического Совета по физике учебно-методического объединения вузов Республики Беларусь по естественнонаучному образованию
(протокол № 3 от 31 мая 2010 г.).

Ответственный за выпуск: Н.Н. Кольчевский

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая учебная программа «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов» разработана для студентов специальности 1-31 04 02 "Радиофизика" в соответствии с требованиями образовательного стандарта по специальности 1-31 04 02 "Радиофизика".

Целью изучения дисциплины является формирование систематизированных теоретических знаний и практических навыков, необходимых для специалистов в области полупроводниковой микро- и нано-электроники.

Основная задача дисциплины – научить студентов анализировать физические явления, эффекты и процессы, протекающие в полупроводниковых материалах и структурах, лежащих в основе работы приборов электроники, радиоэлектронных устройств. Для освоения дисциплины необходимо:

- используя модельные представления усвоить структурные и электрофизические свойства материалов электроники, изучить основы зонной теории, получить знания о статистике носителей заряда в полупроводниках;
- изучить кинетические явления в полупроводниках, основные закономерности генерации, рекомбинации и переноса носителей заряда, а также сопутствующие эффекты, происходящие в полупроводниковых материалах;
- изучить физических свойства контактов металл-полупроводник, р-п перехода, гетероперехода, или более сложных структур полупроводников;
- теоретически и экспериментально изучить принципы работы и электрофизические характеристики классических полупроводниковых приборов;
- на основе выполнения лабораторного практикума, а также решения компьютерных задач моделирования физических процессов получить теоретические знания и практические навыки исследования физических процессов, происходящих в полупроводниках и полупроводниковых структурах при различных воздействиях (легировании, нагреве, облучении и др.).

Основными методами и технологиями обучения, отвечающими целям и задачам изучения дисциплины «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов», являются:

- проблемное обучение (проблемное изложение, реализуемое на лекционных занятиях, частично-поисковый и исследовательский методы,

реализуемые на лабораторных занятиях и при самостоятельной работе студентов);

- коммуникативные технологии (учебные дискуссии, споры-диалоги);
- преподавание с использованием мультимедийной техники и прикладных компьютерных программ, ориентированных на моделирование физических процессов в полупроводниках и полупроводниковых приборах.

Для контроля качества обучения используются следующие средства диагностики: составление рефератов и выступления студентов по разработанным ими темам, оценка решения типовых задач (компьютерные апплеты), аудиторное и дистанционное тестирование на основе технологии Bluetooth по отдельным разделам дисциплины, итоговое тестирование по дисциплине в целом, устный экзамен.

Самостоятельная работа студентов направлена на закрепление и обобщение пройденного учебного материала, реализуется в виде изучения методической и научной литературы в библиотеке, выполнения конкретных нетиповых заданий, содержащих элементы научного поиска, доступа к сетевым источникам информации и работы в компьютерном классе во внеаудиторное время.

Для успешного усвоения дисциплины «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов» необходимы знания по дисциплинам: «Электричество», «Оптика», «Атомная и ядерная физика», «Математическое моделирование», «Теория вероятностей и математическая статистика» в объеме часов, предусмотренных типовыми учебными планами.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные физические процессы, связанные с переносом зарядов в полупроводниковых материалах;
- принципы работы полупроводниковых приборов;
- основные характеристики и области применения полупроводниковых приборов;

уметь:

- проводить теоретические и экспериментальные исследования физических процессов, связанных с распределением и переносом зарядов в твердотельных структурах;
- определять электрофизические параметры полупроводниковых материалов и приборов.

Программа рассчитана на объем 182 часа, из которых 94 являются аудиторными. Распределение аудиторных часов по видам занятий следующее: лекций – 52 часа, лабораторных работ – 42 часа.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование темы	Лекции	Практ. занятия	Лаб. занятия	Всего
1.	Введение	1			1
2.	Модельные представления о структуре полупроводников	2		4	6
3	Основы зонной теории полупроводников	6		4	10
4	Статистика носителей заряда в полупроводниках	6		4	10
5	Кинетические явления в полупроводниках	6		8	14
6	Генерация и рекомбинация носителей заряда	6		4	10
7	Фотоэлектрические явления в полупроводниках	5		4	9
8.	Полупроводниковые приборы	4			4
9.	Электронно-дырочный переход	4			4
10.	Полупроводниковые диоды	4		5	9
11.	Полупроводниковые транзисторы	4		5	9
12.	Многослойные полупроводниковые приборы	4		4	8
	Итого	52	-	42	94

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение

Цель и задачи курса. Этапы развития электроники. Основные представления о свойствах полупроводников.

Тема 2. Модельные представления о структуре полупроводников

Типы химических связей. Кристаллические решетки. Операции симметрии. Положение и ориентация плоскостей в кристаллах. Обратная решетка. Кристаллические структуры материалов электроники. Дефекты кристаллического строения. Фононы. Выращивание монокристаллов Si. Фазовые диаграммы и твердые растворы.

Тема 3. Основы зонной теории полупроводников

Качественная модель зонной структуры твердых тел. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация. Одноэлектронное приближение. Энергетический спектр электронов в кристалле. Одномерная модель Кроннига-Пенни. Зоны Бриллюэна. Эффективная масса носителей заряда. Циклотронный резонанс. Классификация материалов с позиций зонной теории. Элементарная теория примесных состояний.

Тема 4. Статистика носителей заряда в полупроводниках

Плотность квантовых состояний. Функции распределения частиц. Свойства функции Ферми-Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрация носителей заряда в полупроводниках. Закон действующих масс. Собственный полупроводник. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.

Тема 5. Кинетические явления в полупроводниках

Дрейфовая и диффузионная электропроводность. Подвижность носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Эффект Холла. Механизмы рассеяния носителей заряда. Рассеяние на фононах и ионизированной примеси. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Электропроводность в сильном электрическом поле. Электростатическая, термоэлектронная и ударная ионизация. Эффект Ганна.

Тема 6. Генерация и рекомбинация носителей заряда

Взаимодействие света с полупроводниками. Закон Бугера-Ламберта. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители заряда. Квазиуровни Ферми. Биполярная и монополярная оптическая генерация носителей. Время жизни неравновесных носителей заряда. Механизмы рекомбинации.

Тема 7. Фотоэлектрические явления в полупроводниках

Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Фотовольтаические эффекты. Внешний фотоэффект

Тема 8. Полупроводниковые приборы

Исторический экскурс и современное состояние физики полупроводниковых приборов. Классификация полупроводниковых приборов. Параметры и свойства генераторов Ганна. Терморезистор. Датчик Холла. Конструкции и технологии изготовления полупроводниковых приборов.

Тема 9. Электронно-дырочный переход

Модель электронно-дырочного перехода. Контактные явления. Генерация и рекомбинация носителей заряда в электронно-дырочном переходе. Токи через электронно-дырочный переход. Концентрации неосновных носителей заряда у границ электронно-дырочного перехода. Распределение напряженности электрического поля и потенциала. Барьерная емкость электронно-дырочного перехода. Пробой электронно-дырочного перехода. Гетеропереходы. Переходы Шотки.

Тема 10. Полупроводниковые диоды

Модель полупроводникового диода. Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. Переходные процессы в диодах. Классификация диодов. Импульсные диоды. Диод Шотки. Стабилитроны. Лавинно-пролетные диоды. Туннельные диоды. Варикапы. Варисторы. Шумовые диоды. Обращенные диоды. Импульсные диоды.

Тема 11. Полупроводниковые транзисторы

Биполярные транзисторы. Барьерные емкости переходов. Явления в транзисторах при больших токах. Электрические схемы включения и режимы работы биполярных транзисторов. Статистические характеристики. Частотные характеристики. Полевые транзисторы с управляющим переходом. Полевые транзисторы с изолированным затвором.

Тема 12. Многослойные полупроводниковые приборы

Тиристоры. Способы управления тиристорами. Приборы с зарядовой связью. Оптоэлектронные полупроводниковые приборы. Фотоника. CCD, SMOS камеры. Полупроводниковые термоэлектрические и гальваномагнитные приборы. Холодильник Пельтье. Интегральные схемы. Перспективные направления развития полупроводниковых приборов.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. *Шалимова, К.В.* Физика полупроводников / К.В. Шалимова. М.: Энергия, 1985.
2. *Фистуль, В.И.* Введение в физику полупроводников / В.И. Фистуль. М.: Высш. шк., 1984.
3. *Бонч-Бруевич, В.Л.* Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников / М.: Наука, 1977.
4. *Смит, Р.* Полупроводники / Р. Смит. М.: Мир, 1982. 560 с.
5. *Росадо, Л.* Физическая электроника и микроэлектроника / Л. Росадо. М.: Высш. школа, 1991.
6. *Солимар.* Лекции по электрическим свойствам материалов / Солимар. М.: Мир, 1991.
7. *Пасынков, В.В.* Полупроводниковые приборы / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. С-П, 1991. 470с.
8. *Зи, С.* Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. М, 1984
9. *Степаненко, И.П.* Основы микроэлектроники / И.П. Степаненко. М, 1980. 250с.
10. *Викулин, И.М.* Физика полупроводниковых приборов / И.М. Викулин, В.И. Стафеев. М, 1980.

Дополнительная литература

1. *Ридли, Б.* Квантовые процессы в полупроводниках. / Б. Ридли М.: Мир, 1986.
2. *Епифанов, Г.И.* Физика твердого тела. / Г.И. Епифанов. М.: Высш. школа, 1977.
3. *Анималу, А.* Квантовая теория кристаллических твердых тел. / А. Анималу. М.: Мир, 1981.
4. *Mayer, J.W.* Electronic Materials Science / J.W. Mayer, S.S. Lau. N.Y.: Macmilan Publ. Company, 1994. 476 p.
5. *Малер, Р.* Элементы интегральных схем / Р. Маллер, М.Кейминс. М.: Мир, 1981. 630 с.
6. *Тилл, У.* Интегральные схемы. Материалы, приборы, изготовление. / У. Тилл, Дж. Лаксон. М.: Мир, 1985. 501 с.
7. *Мосс, Т.* Полупроводниковая оптоэлектроника. / Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. М.: Мир, 1979.
8. *Шур М.* Современные приборы на основе арсенида галлия. / М. Шур. М.: Мир, 1991.

9. Овчинников, В.В. Технологии многослойных структур для микроэлектроники / В.В. Овчинников, А.С. Тимошин, В.В.Крапухин. М, 1992. 88с.

Примерный перечень лабораторных работ

1. Изучение кристаллических структур и зонной структуры основных полупроводников – Si, Ge, GaAs, SiGe сплавы (*компьютерные Апплеты*).
2. Изучение зонной структуры полупроводников Si, Ge, GaAs, AlAs и сплавов на их основе (SiGe, AlGaAs) в зависимости от композиционного состава (*компьютерные Апплеты*).
3. Изучение статистики неравновесных носителей заряда в полупроводнике для различных уровней легирования и типа полупроводника (*компьютерные Апплеты*).
4. Изучение положения уровня Ферми от концентрации легирующей примеси и температуры (*компьютерные Апплеты*).
5. Определение подвижности и концентрации носителей заряда методом эффекта Холла.
6. Спектральная зависимость фотопроводимости полупроводников.
7. Изучение эффекта Ганна.
8. Изучение электрофизических характеристик терморезистора.
9. Изучение электрофизических характеристик диода.
10. Измерение h-параметров биполярного транзистора.
11. Измерение подвижности носителей заряда в канале полевого транзистора.